LABORATORIO DELL'IMMAGINARIO SCIENTIFICO

*"Io non so che cosa possa aver pensato
di me il mondo, ma per conto mio
mi sembra di essere stato
come un fanciullo che,
giocando sulla riva del mare,
si sia divertito a trovare,
di quando in quando,
un ciottolo più liscio
o una conchiglia
più bella dell'ordinario,
mentre l'immenso oceano
della verità stava
davanti a me
ancora tutto da scoprire".*

Isaac Newton

L'IMMAGINARIO SCIENTIFICO NOTIZIE

OTTOBRE 1995 - N°24

Un altro sistema solare?

di Margherita Hack

La recente scoperta di un pianeta attorno alla stella 51 Pegasi rappresenta, se confermata, un'importantissimo risultato scientifico che riapre l'eterno interrogativo sulla vita extraterrestre.

La settimana scorsa a Firenze si è tenuto un congresso di astrofisica dedicato alle "stelle fredde", cioè a stelle come il Sole, la cui temperatura superficiale è di circa 6000 gradi kelvin o a temperature ancora più basse. Fra le tante comunicazioni, una ha fatto scalpore: è l'annuncio dato da due astrofisici svizzeri, Michel Major e Didier Queloz, dell'Osservatorio di Ginevra, della possibile scoperta di un pianeta in orbita attorno alla stella 51 Pegasi. 51 Pegasi è una stella un po' più fredda del Sole, temperatura superficiale circa 5000 gradi kelvin, distante da noi una quarantina di anni luce. Da accurate misure del suo moto, i due astrofisici hanno messo in evidenza che la stella oscilla leggermente e regolarmente attorno alla sua posizione centrale. Di qui si può arguire l'esistenza di un corpo che con la sua attrazione gravitazionale ne perturba il moto, e dall'entità e periodicità delle oscillazioni si può ricavare la massa e la distanza del corpo perturbante. Si tratta dell'ennesimo esempio di come la teoria della gravitazione (tema delle pagine centrali di questo numero) permetta di fare delle previsioni scientifiche.

Non potrebbe essere una delle tante stelle doppie? La risposta è negativa, perché il corpo ha una massa di circa 3 millesimi della massa del Sole, o tre volte quella di Giove. Ossia una massa troppo piccola per raggiungere temperature centrali di qualche milione di gradi, necessari per innescare le reazioni nucleari con trasforma-

continua a pagina 2

La non scienza della complessità

Intervista a DAVID PINES, Istituto di Santa Fe - New Mexico

L'Istituto di Santa Fe è un'istituzione fondata nel 1984 che si dedica allo studio dei fenomeni complessi. Vi lavorano scienziati e ricercatori di aree molto diverse con lo scopo di approfondire la comprensione della natura e di tutti i suoi fenomeni: la scienza della complessità, diversamente dal riduzionismo – che con leggi semplici spiega eventi e fenomeni sezionandoli in piccole unità indipendenti – rivolge sulle cose uno sguardo d'insieme, e si interessa alle intricate e imprevedibili correlazioni tra i sistemi.
David Pines, professore di Fisica all'Università dell'Illinois, è stato uno dei fondatori dell'Istituo di Santa Fe; lo abbiamo incontrato durante una sua visita a Trieste e gli abbiamo chiesto di raccontarci qualcosa su questa esperienza unica al mondo.

All'inizio degli anni ottanta, quando è nato l'Istituto di Santa Fe, il fatto di adottare la complessità come nuovo paradigma per comprendere il mondo rappresentò quasi una rivoluzione. Quali sono le sue considerazioni dopo un decennio di lavoro?

A Santa Fe abbiamo cominciato a occuparci di problemi che stavano all'incrocio fra più discipline, e ci siamo presto resi conto che per ogni tema diverso si presentavano dei paradigmi simili. Ci siamo quindi innanzitutto posti alcune domande. Esiste una scienza della complessità? Ci sono delle leggi generali a cui obbediscono i diversi *sistemi complessi adattivi*?

Per *sistema complesso adattivo* si intende un sistema in grado di elaborare informazione, di costruirsi dei modelli, di adattarsi al mondo e di valutare se l'adattamento sia utile o meno. Questa definizione estremamente semplificata di sistema complesso si può applicare a tutto: anche in questo momento, durante questa conversazione, ognuno di noi osserva il mondo, si costruisce un modello di chi gli sta di fronte, riceve ed elabora informazioni, semplifica, cerca di immaginare come proseguirà la conversazione.

Per quanto riguarda la situazione attuale, l'Istituto si occupa fondamentalmente di tre programmi. 1) Costruire *metafore*, scenari, idee che possono adattarsi a tutti i campi di interesse. 2) Simulare questi scenari con dei *modelli* della realtà; in questo modo si introduce nel sistema la retroazione e quindi la possibilità di modificare il suo comportamento alla luce dell'esperienza. 3) Verificare i modelli con il *mondo reale*, che è la parte più importante del programma; un modello può essere interessante di per sé, ma lo diventa molto di più se è correlato con il mondo reale.

Può citare degli esempi particolarmente attraenti?

Prendiamo l'economia. La cosiddetta *teoria economica classica* suppone che ogni sistema economico si trovi sempre vicino a uno stato di equilibrio. Secondo questa teoria, che risulta palesemente incompatibile con il mondo reale, quando un sistema si allontana dalla stazionarietà, intervengono delle forze che lo riportano indietro. Nel mondo reale invece spesso succede che, una volta che un sistema si sia allontanato leggermente dall'equilibrio, le forze in gioco ve lo portino sempre più lontano. È per questo che si verificano i periodi di depressione economica o gli improvvisi crolli in borsa: se la borsa funzionasse secondo il modello teorico classico non succederebbe mai niente di interessante, non ci sarebbero oscillazioni dei prezzi e delle quotazioni, nessuno fallirebbe per qualche ragione inaspettata, e tutti saprebbero esat-

continua in ultima pagina

OSSERVATORIO UNIVERSITÀ E RICERCA

Nuovi paesaggi all'orizzonte della scienza

I microscopi elettronici del Centro Grandi Strumenti dell'Università

Una delle principali fonti da cui scaturiscono le informazioni che modificano e rinnovano l'immaginario scientifico della nostra collettività sono senz'altro i microscopi. In particolare il microscopio elettronico a scansione ha aperto un grande mondo di splendide forme anche agli occhi del grande pubblico. Artropodi più o meno grandi, elegantissimi protisti, muffe, tessuti vegetali ed animali in scala cellulare, nonché organelli subcellulari, batteri, grossi virus e anche strutture ultrafini delle superfici di molti materiali, sono apparsi fotografati su tutte le riviste come nuovi paesaggi o esotiche creature. Le immagini a tutto tondo che si ottengono con questo microscopio (in cui a rimbalzare sull'oggetto non sono onde elettromagnetiche ma un fascio di elettroni) hanno una nitidezza che, naturalmente, è molto aumentata nel corso degli anni. Un tempo i microscopi elettronici a scansione (di solito si usa l'acronimo inglese SEM) si differenziavano dai microscopi elettronici a trasmissione (TEM) principalmente perché, contro il vantaggio di un'immagine tridimensionale, presentavano lo svantaggio di una risoluzione che non andava molto oltre il decimo di micrometro, cioè una risoluzione solo di due ordini di grandezza superiore a quella del normale microscopio ottico. Gli ultimi modelli di microscopio elettronico offrono combinati i vantaggi di questi due tipi (vengono difatti chiamati STEM). In particolare, il modello recentemente acquistato dall'Università di Trieste ha una risoluzione di 5 nanometri (cioè 5 miliardesimi di metro) e può passare da 15 X a 30.000 ingrandimenti. E non solo. Oltre ad esplorare la superficie del campione, questo microscopio permette anche di compiere analisi sia sulla composizione media del campione, sia su quella di singoli dettagli. Il tutto attraverso un programma che gira in ambiente Windows e che in futuro sarà controllabile anche in remoto. Predisposto per ospitare dispositivi criogenici (per il *freeze-etching*, una tecnica che permette di spaccare cellule a bassissime temperature e osservarne gli organelli senza bisogno di particolari preparazioni), questo microscopio ha una grande camera a vuoto in cui possono essere osservati anche grossi campioni non biologici. Difatti il microscopio elettronico non è usato solo in biologia (dove "ha permesso di rendere visibile una nuova realtà", come è stato detto durante il Convegno Nazionale di Ultrastruttura organizzato in giugno da Laura Talarico per presentare il nuovo strumento alla comunità scientifica), ma anche in molte altre discipline, dalla medicina alla scienza dei materiali. Per riuscire ad acquistare questo microscopio (il cui costo si avvicina ai trecento milioni di lire), si sono dovute unire le forze di diverse facoltà del nostro Ateneo (per la precisione: la Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali con il Dipartimento di Biologia, La Facoltà di Medicina e Chirurgia e la Facoltà di Ingegneria con il Dipartimento di Ingegneria dei materiali e Chimica applicata). Il Centro Grandi Strumenti, costituito per ora solo sulla carta, dovrà essere la struttura amministrativa interfacoltà che gestisce questo ed altri strumenti in multiproprietà. Il Centro, per il quale è stato acquistato anche un TEM di nuovo modello, si prevede che possa funzionare come centro servizi non solo per l'Università di Trieste ma anche per altri istituti di ricerca scientifica (sia pubblici, sia privati).

Ettore Panizon

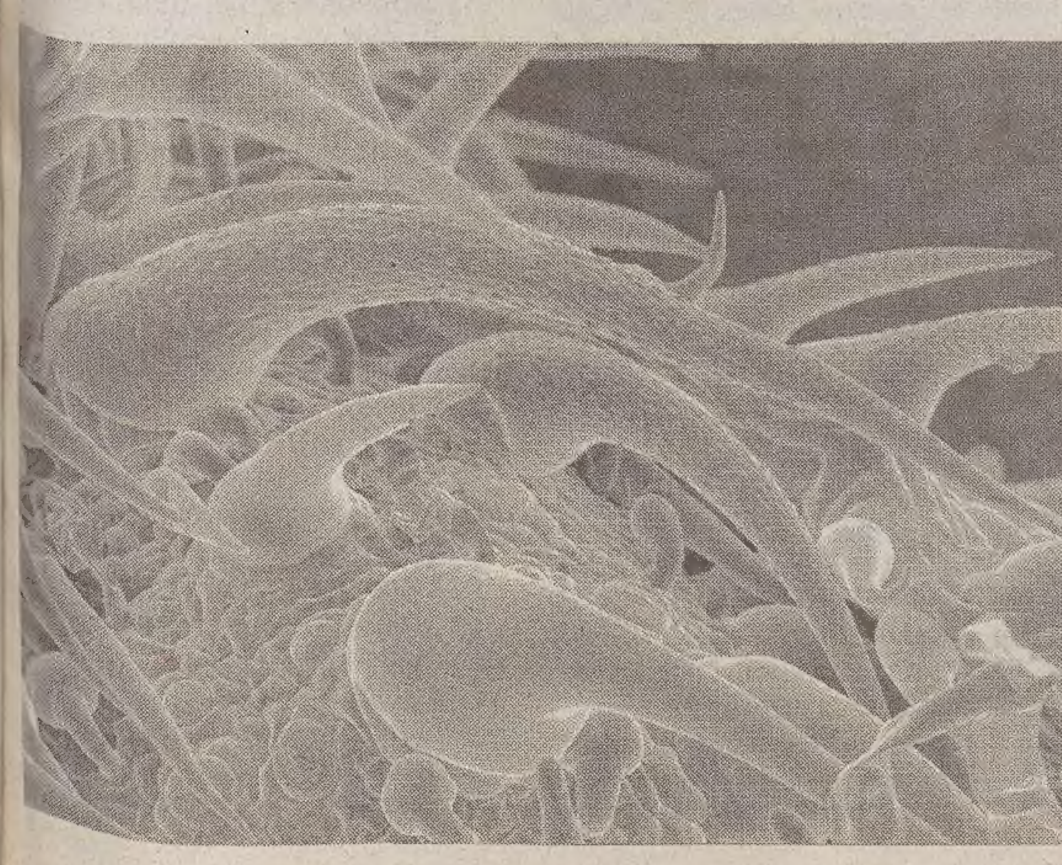


Immagine ottenuta da un campione fresco di fiori di ortica con il nuovo microscopio elettronico a scansione dell'Università di Trieste. Foto di Tito Ubalbini.

IN QUESTO NUMERO

A pagina 1:
La scoperta di un nuovo pianeta commentata da Margherita Hack, *Un nuovo sistema solare?*
Dieci anni dell'Istituto di Santa Fe visti da uno dei fondatori, David Pines, *La non scienza della complessità*
I nuovi microscopi elettronici dell'Università di Trieste, *Nuovi paesaggi all'orizzonte della scienza*
Nella pagine centrali, tutto sulla gravitazione in occasione della recente conferenza mondiale di Firenze su relatività e gravitazione
Cacciatori di onde, Maurizio Marchetti, cronaca della conferenza
Daniele Amati, *La luce e il suo schermo*, somiglianze e differenze tra la materia e il dominio della luce
Marek Abramowicz, *Il dominio della gravità*, sull'inerzia, misteriosa caratteristica dei corpi soggetti alla forza di gravità
La forza "G" nel cosmo, manifestazioni diverse e poco conosciute della gravità
Breve genealogia della gravità. Le teorie sulla gravitazione da Aristotele a Einstein
Eco della stampa scientifica
A pagina 4:
Pietro Greco, *Da Hiroshima a Mururoa*, sugli esperimenti nucleari francesi
La scienza da sfogliare sul nuovo libro di Pietro Greco, *Hiroshima, la fisica conosce il peccato* letto da Fabio Pagan.

DRUGNET

"DrugNet" è un progetto didattico realizzato in occasione della Settimana Europea attraverso la rete telematica del LIS. Il tema è lo studio e la prevenzione delle tossicodipendenze affrontato da molteplici punti di vista: scientifico, culturale, sociale, storico. Per partecipare, le scuole - oltre a dotarsi di modem e computer - devono organizzare una classe o un gruppo di studenti interessati seguiti da un insegnante. Tutti i gruppi saranno in contatto reciproco e potranno consultare e commentare in tempo reale i materiali prodotti dagli altri gruppi. Alla fine, i contributi più interessanti saranno pubblicati su "L'Immaginario Scientifico Notizie". Per collegarsi al BBS e richiedere ulteriori informazioni, il numero del modem è (040) 398091.

Inizia a novembre il **Master in Comunicazione della Scienza** del Laboratorio interdisciplinare della SISSA. Scopo del Master, che ha la durata di due anni, è la formazione professionale e culturale di giovani che intendono avviarsi al giornalismo scientifico. Il Master si avvale della collaborazione dei maggiori centri scientifici triestini e di molti giornalisti professionisti italiani.

Al primo anno saranno ammessi 15 studenti, selezionati in base ai titoli presentati e a un esame.

Per informazioni: R. Sain (040-224160 / 3787420).

Questo numero è stato realizzato con il contributo di:
AISA ISSA
Lloyd Adriatico
LIONS CLUB TRIESTE HOST

La forza "G" nel cosmo

La gravità non è soltanto responsabile della caduta dei corpi dotati di massa (si può parlare in questo caso di forza peso o più brevemente di peso), ma anche di molti altri fenomeni, su tutte le scale.

Negli spazi intergalattici e negli interstizi subnucleari, il ruolo della gravità è sicuramente importante, ma come esattamente questa forza interagisca con le altre a distanze rispettivamente così grandi e così piccole resta, anche per gli scienziati, ancora un grosso punto di domanda.

Sulle scale intermedie gli scienziati si pronunciano già con maggiore convinzione. Siccome, a differenza della forza elettromagnetica, la forza di gravità non è bipolare (non ha cioè un polo positivo e uno negativo che si annullino a vicenda; cfr., in questa stessa pagina, la conversazione con Daniele Amati), questa forza cresce e diviene man mano più importante con l'aumentare delle masse in gioco. Così, a livello subatomico (cioè tra nucleo ed elettroni) la gravità, comparata con le forze elettriche, è considerata un elemento decisamente trascurabile. A livello molecolare la forza peso diventa invece un fattore importante nella separazione delle sostanze nell'ambiente naturale, dove le molecole sono libere di aggregarsi in grandi masse. Sono da ascrivere alla forza di gravità la stratificazione e in qualche misura anche lo spostamento orizzontale delle acque del mare e dei gas nell'atmosfera (è grazie alla gravità, tra l'altro, che l'aria respirabile non si disperde nello spazio). Già attorno a noi, poi, è percepibile l'attrazione gravitazionale da parte della Luna (e del Sole) che si manifesta non solo con le maree (ci sono anche quelle terrestri) che, pure, giocano un ruolo importante nella circolazione delle correnti ma anche in molti cicli di crescita e trasformazione. Non occorre nemmeno nominare, poi, la maggior parte dei fenomeni geologici: dalla discesa dei fiumi — fin nelle grotte — alla formazione delle rocce e del magma.

All'interno delle strutture viventi, il discorso cambia: se la gravità è scientificamente correlata all'inerzia (cioè, in qualche misura, alla morte: l'inerzia, difatti, è la previdibilità del movimento di un corpo), la vita è caratterizzata da movimenti leggeri, spesso imprevedibili. Effettivamente, l'elemento primo della vita è l'acqua, ambiente in cui la gravità, per le sostanze biologiche, è quasi annullata. La vita, inoltre, non si dispiega in grandi masse inerti, ma si articola in strutture fini e compartimentate. Così, almeno a livello delle pur grandi molecole biologiche, la gravità, comparata alle forze elettriche, non si fa affatto sentire. Ciò non di meno, anche la vita ha dovuto fare i conti con la forza peso. A livello delle strutture della cellula, questa forza è un fattore la cui influenza è stata oggetto di recenti studi ed esperimenti. Per i batteri, certamente collegate alla gravità sono le strutture superficiali che permettono a molti di loro di attaccarsi a diversi tipi di superfici, anche lisce e inorganiche. Ma man mano che si considerano organismi unicellulari più complessi e dotati di nucleo, si notano anche altre strutture motivate dalla gravità, come una specie di scheletro, formato da un complesso telaio di tubicini, che impedisce agli organelli di precipitare verso il basso; una simile intelaiatura, all'interno del nucleo, evita che i cromosomi si ammassino tutti da una parte. Negli organismi pluricellulari, la gravità diventa ovviamente determinante, e non solo come fattore che ne limita dal di fuori la crescita e la forma. Nella formazione dell'embrione, si è visto (con uova di rospo *Xenopus*) che ruotando l'uovo fecondato ripetutamente e a distanza di tempo, si sviluppa un organismo con anomalie importanti, come spina bifida e simili. La maggior parte delle piante, poi, addirittura *utilizzano* la gravità; attraverso delle specie di complessi "piombini" biologici (sia cellulari, sia molecolari), le piante sanno seguire in entrambe le direzioni il vettore della forza di gravità, in modo da affondare le radici verso il basso e dirigere il fusto verso l'alto. Anche l'orecchio degli animali contiene dei sensori che hanno lo stesso scopo e che, negli animali terrestri, utilizzano il comportamento gravitazionale di particolari sassolini (*otoliti*) per far sì che il cervello sappia sempre dove stanno l'alto e il basso. Anche le ossa, mediante meccanismi molecolari e cellulari ancora non ben compresi, sono modellate dalla forza di gravità: uno dei principali problemi medici degli astronauti, difatti, è la grande quantità di calcio che si elimina nelle urine vivendo a gravità prossima allo zero (*microgravità*). Un altro problema riscontrato negli astronauti è quello del rapido indebolimento della muscolatura, in particolare di quella liscia: il cuore molto presto si disabitua al lavoro di spingere in circolo decine di volte al minuto i cinque chili della massa sanguigna.

Allontanandoci dall'atmosfera terrestre e passando a scale più grandi, la gravità diventa, a quanto pare, decisamente la principale forza cosmica in gioco. L'aggregazione della materia dei corpi celesti e la loro forma sono dovute alla forza di gravità. Gli stessi processi nucleari che fanno risplendere tutti gli astri sono innescati dalla tremenda pressione determinata dalla forza di gravità all'interno delle masse stellari. E non solo, come spiega la meccanica celeste, le traiettorie dei pianeti sono determinate dall'attrazione gravitazionale da parte del Sole, ma, secondo la teoria della relatività generale, la stessa forma dello spaziotempo è gravitazionalmente modellata dalle grandi masse degli oggetti del cielo: la luce stessa, che, secondo la teoria della relatività ristretta, determina i limiti spaziotemporali degli eventi, può difatti essere curvata dalla forza di gravità. Anzi, le stesse interazioni tra i corpi celesti possono essere spiegate a partire dall'influenza di questi ultimi sulla geometria dello spaziotempo.

E.P.

DALLA PRIMA PAGINA

zione di idrogeno in elio. Si stima che per diventare una stella, ci voglia una massa di almeno 5 o 6 centesimi della massa del Sole. Le stelle con le masse più piccole scoperte finora sono una nella costellazione della Balena e una nell'ammasso delle Pleiadi, e hanno masse di 8 centesimi di quella solare.

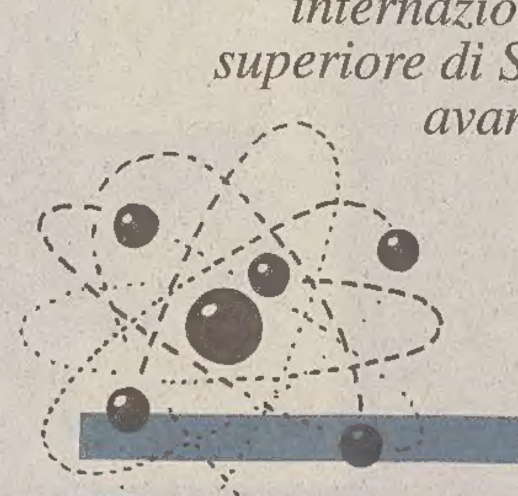
Il periodo di rivoluzione di questo grosso pianeta (che potremo forse definire una stella abortita) è di soli 4 giorni; ne segue che orbita attorno alla sua stella a una distanza circa 8 volte più piccola di quella di Mercurio dal Sole. Deve trattarsi di un corpo completamente gassoso e con una temperatura superficiale di un migliaio di gradi: certamente non adatto a ospitare alcun alieno. Se queste osservazioni verranno confermate, sarà l'indizio più attendibile della presenza di un pianeta attorno a una stella simile al Sole.

Ci sono altri indizi, assai più incerti, di stelle circondate da sistemi solari in formazione, e un caso, la stella Beta Pictoris, che potrebbe avere uno o due pianeti del tipo di Giove, già formati.

In un solo caso abbiamo la certezza di pianeti extrasolari: si tratta di una pulsar, le cui pulsazioni vengono perturbate dalla presenza di tre pianeti, grossi più o meno come la Terra. Quello che ci sorprende è di aver trovato dei pianeti proprio dove non ci si aspettava. Infatti la pulsar è ciò che resta dell'esplosione di una supernova. Si pensa che nel corso dell'esplosione la supernova distrugga tutto ciò che la circonda. In particolare un eventuale sistema planetario raggiunto dal caldo inviluppo esplodente sublimerebbe all'istante. L'unica spiegazione possibile è che i pianeti si siano formati dopo, anche se non è affatto chiaro come la materia possa condensarsi da una nube che si espande a velocità di molte migliaia di chilometri al secondo.

Quando nei prossimi anni entrerà in funzione il Very Large Telescope dell'Osservatorio europeo dell'emisfero australe (ESO), composto da quattro specchi di 8 metri di diametro ciascuno, riusciremo a "vedere" direttamente se ci sono altri pianeti extrasolari intorno a stelle relativamente vicine.

Daniele Amati
Direttore della Scuola internazionale superiore di Studi avanzati



All'inizio la luce e la materia appartenevano a un unico insieme indistinto, l'Universo primordiale. Secondo la teoria cosmologica attualmente più accreditata, durante l'espansione successiva è avvenuto il disaccoppiamento: luce e materia se ne sono andate ognuna per la sua strada. Da allora sono due realtà appartenenti a domini distinti. È proprio a questa separazione che è dovuta la variegata struttura attuale dell'Universo, con stelle, galassie, ammassi di galassie ecc.— cioè il dominio della materia —c... tono radiazione elettromag... cioè il dominio della luce.

La luce è un fenomeno che ... ha studiato e compreso ab... a fondo: una descrizione co... convincente della luce è forn... teoria dell'elettromagnetism... sica e quantistica), che si o... tutti i fenomeni luminosi, el... magnetici.

La gravitazione, invece, è ... che fa sì che i corpi dotati d... si attraggano a vicenda, in...

LA LUCE E IL SUO SC...

Partiamo dalle leggi fondamentali che valgono nel dominio della luce e nel dominio della materia: si possono trovare della analogie di comportamento?

La forza di Coulomb, che descrive il modo in cui due cariche elettriche interagiscono, ha una forma analoga alla forza di Newton che descrive l'attrazione tra corpi massivi. La teoria fondamentale dell'elettromagnetismo è opera di James Clerk Maxwell che con le sue famose equazioni rendeva ragione di un fatto apparentemente inspiegabile: l'azione a distanza tra due corpi come per esempio due calamite o un bastoncino di ambra e dei pezzettini di carta. Le equazioni di Maxwell stabiliscono che le forze sono mediate da *campi*: ogni oggetto carico genera un campo elettromagnetico e risente a sua volta dei campi elettromagnetici generati da altri corpi carichi. Le cariche elettriche sono le *sorgenti* del campo elettromagnetico; campo e cariche non possono essere considerati separatamente ma sono intesi come un tutt'uno. Le equazioni di Maxwell danno così una visione classica di insieme dell'elettromagnetismo.

Nel dominio della materia, l'analogo della legge di Coulomb è la legge della gravitazione universale di Isaac Newton. L'equivalente gravitazionale delle equazioni di Maxwell per l'elettromagnetismo sono le equazioni di Einstein dove il campo gravitazionale prende il posto del campo elettromagnetico e l'energia rappresenta la "carica" a cui il campo gravitazionale si accoppia. Mentre ci sono cariche elettriche positive e negative — quindi repulsione e attrazione— la carica gravitazionale ha un solo segno e le forze sono solo attrattive. Ecco perché noi sperimentiamo intensamente la forza gravitazionale (pur essendo la più debole delle quattro forze fondamentali), ma normalmente non percepiamo le forze elettriche: siamo infatti globalmente elettricamente neutri, ma piuttosto massicci.

Un fascio di luce che si propaga nel vuoto segue la geometria dello spazio; la presenza del Sole, di un pianeta, di qualunque oggetto massiccio genera un campo gravitazionale che curva la geometria dello spazio intorno a sé, e di conseguenza il cammino del raggio di luce viene deviato nelle sue vicinanze. Questo è stato confermato dalla famosa esperienza di Eddington in occasione di un'eclissi solare.

La luce è spiegata in termini di onde e di fotoni, cioè pacchetti di luce. C'è qualcosa di simile anche per la gravità?

Torniamo all'elettromagnetismo: una volta scritte le equazioni di Maxwell si è anche capito che il campo elettromagnetico è responsabile dell'irraggiamento. Non solo media le forze tra particelle cariche, ma può anche essere emesso dagli oggetti carichi: infatti una particella carica soggetta a forze deve senz'altro emettere radiazione elettromagnetica. Analogamente le equazioni di Einstein generano campi gravitazionali che si propagano, il che implica onde gravitazionali. È sta... fatti osservato che a causa dell'... giamento gravitazionale le ... binarie perdono energia ... previsto dalla teoria. Ma non è ... osservare nei nostri laboratori le ... gravitazionali; attualmente si ... facendo notevoli e ingegnosi ... per costruire antenne adatte ... vare onde gravitazionali prov... da qualche emissione avven... qualche punto dell'Universo, pe... pio un'esplosione di supernova. ... strumenti sono costruiti in base ... to che l'irraggiamento gravita... le provoca una fluttuazione del... ometria dello spazio: è come ... crespatura dello spazio che ... do passa un'onda gravitazion... si allunga in una direzione e si ... cia in un'altra. Tutto ciò è già ... a livello classico (o semiclassico ... gari, come viene chiamato l'in... materia e irraggiamento). A l... quantistico, l'irraggiamento ha ... una versione corpuscolare: il f... per la radiazione elettromagne... *gravitone* per quella gravitazio...

Il fallimento delle ricerche di ... vitoni e onde gravitazionali (si ...

Breve genealogia della forza di gravità

Che le cose cadano, è una delle prime esperienze che colpiscono la mente del bambino. Lo sanno bene i genitori che, per periodi più o meno lunghi, hanno passato il loro tempo a raccogliere le cose gettate a terra dai loro figli. Che le cose cadano, evidentemente, per il bambino non è qualcosa di scontato. Poi, con il passare degli anni, la gravità entra a far parte dei nostri schemi non solo sensoriali, ma anche percettivi e mentali, e non ci stupisce più. Per stupirsene ancora occorre una mente scientifica, quasi filosofica.

Aristotele, che, seguendo in questo Platone, considerava la meraviglia come l'origine della filosofia, alla domanda "perché cadono i corpi?" diede però una risposta un po' troppo affrettata. La sua ingenua fisica rispecchiava difatti le certezze della percezione dell'adulto, generalmente abbastanza lontane dalla verità. Le cose, secondo Aristotele, hanno, a seconda del loro peso, uno specifico *luogo naturale*. A ognuno dei quattro elementi (terra, acqua, aria e fuoco) corrisponde, concentricamente, una sfera. E "ogni elemento si muove verso la sua sfera, se non ne è impedito" (*Fisica*, IV, 1). Per questo le pietre cadono, l'acqua sgorga, le bolle salgono e le fiamme vanno verso l'alto.

Come è noto, questa spiegazione, anche a causa di intellettualistiche interpretazioni della Bibbia, perdurò per molti secoli della storia del pensiero occidentale. Del resto, la suffragava l'evidenza quotidiana di una Terra percettivamente immobile. Ma la teoria dei luoghi naturali, come li intendeva Aristotele (per il quale il *luogo* è una realtà fisica che avvolge il corpo; cf. *Fis.*, IV, 4), non era abbastanza generale. Qual è il "luogo" di un uomo in barca che si sposta rispetto alla riva? Galilei, proprio partendo dall'esperienza di una nave in movimento, sulla quale si può saltare ricadendo sullo stesso punto del ponte, dimostrò l'errore insito nell'idea di un luogo assoluto e aprì la strada all'idea di un sistema di riferimento inerziale, un sistema cioè che si muove con una direzione e una velocità che rimangono costanti. Considerata, grossomodo, come un sistema di riferimento inerziale, la Terra può, senza contraddire l'esperienza quotidiana, essere pensata come un corpo mobile che viaggia nello spazio assieme a tutto ciò che essa contiene. L'idea di Newton di collegare la caduta dei "gravi" al movimento dei corpi celesti, è un frutto che deve essere maturato, molto lentamente, proprio da quest'ordine di pensieri.

Che i corpi celesti si attraggano l'un l'altro era stato intuito già in ambito platonico. In epoca rinascimentale, Copernico e, più esplicitamente, Keplero tornano a parlare di *appetentia*, un'attrazione tra i corpi proporzionale al quadrato della loro reciproca distanza. Ma il teorema fondamentale della fisica aristotelica, secondo il quale "tutto ciò che si muove è necessariamente mosso da qualcosa" (*Fis.*, VII, 1) sembrava un ostacolo inconfutabile all'accettazione della possibilità di un'azione a distanza tra i corpi. La causa e l'effetto devono entrare fisicamente in contatto. Neanche la teoria scolastica dell'*impetus*, che criticava il teorema aristotelico a partire dall'esempio della freccia, dava una plausibile spiegazione al moto esatto e continuo dei corpi celesti. Le osservazioni di Keplero riguardo alle orbite ellittiche dei pianeti, che accelerano e decelerano a seconda che si avvicinino o si allontanino dal Sole, erano solo la descrizione empirica di un movimento che rimaneva inspiegato e inspiegabile. Anche Galilei, che pure aveva accettato entusiasticamente il modello eliocentrico proposto da Copernico, a proposito delle maree si dimostrò estremamente riluttante a credere che fossero collegabili al movimento di un corpo lontano come la Luna.

Persino Newton, formulando la sua meccanica celeste, dice di non avanzare ipotesi o interpretazioni sulla natura della forza di gravità, limitandosi a de-

continua in ultima pagina

Marek A. Abram...
Dipartimento di ...

Il do...

La teoria della gravitaz... lascia però ancora molte ... corpi soggetti alla forza d...

Nonostante i sostanziali pro... nella comprensione della gravi... dobbiamo all'opera di A... Einstein, molti importanti asp... questo fenomeno rimangono a... non sufficientemente compresi. ... lo che senz'altro ancora non ... mo ben capito è quale sia il ruol... la gravità a livello delle part... subatomiche, e quale sia l'or... dell'inerzia. Ciò non significa ... gravità sia un mistero, come a ... piace affermare. Al contrario, ... previsioni fatte a partire dalla ... della relatività generale di Ei... sono state confermate con imp... nante accuratezza dall'osserv... astronomica. Lo studio della ... ha giocato un importantissim... nella definizione della modern... nomia; si potrebbe anzi dire c... sta sia di fatto nata proprio co... applicazione della Legge di g... zione universale, formulata da ... Newton. Anche oggi, la grav... perno attorno a cui ruota il ... degli astronomi che, con l'alta ... nologia spaziale a loro dispos... hanno potuto osservare alcuni ... prendenti fenomeni dovuti alla ... tissima gravità in certi punti del... lo. Abbiamo imparato a conos... *quasar*, i cui motori centrali s... niamo siano enormi buchi neri ... rilasciano energia gravitazional... modo migliaia di volte più effic... di una bomba atomica; le *pulsar*... le fatte di una materia così dens... un dado peserebbe circa come il M... te Bianco; e le *esplosioni* di ...

di una costante detta gravitazionale, e con un'intensità tanto maggiore quanto più grande è la loro massa e quanto più piccola è la distanza che li separa. A differenza dell'elettromagnetismo, la teoria della gravitazione rimane non del tutto soddisfacente, anche per la fisica moderna. E soprattutto nessuno sa ancora bene che cosa sia la gravitazione e nemmeno perché tutti gli oggetti dell'Universo si attraggano in questo modo.

Sia per l'amor di simmetria che da sempre guida gli scienziati nella ricerca della teoria più semplice, globale ed elegante, sia per le sostanziali analogie tra i fenomeni elettromagnetici e quelli gravitazionali, fatto sta che il tentativo di trovare una teoria che concili luce e materia è uno dei filoni di ricerca più interessanti e seguiti nel campo della fisica teorica.

Quello che segue è il succo di una conversazione, su luce e materia, con Daniele Amati, fisico teorico direttore della Scuola internazionale superiore di Studi avanzati di Miramare.

SCHERMO

l'articolo Cacciatori di onde) è dovuto all'inadeguatezza della tecnologia attuale, oppure si nascondono dei problemi di natura teorica? Come si comporta la gravità a livello quantistico, nell'estremamente piccolo?

Come dicevo prima, il fatto di non aver osservato onde gravitazionali non è un fallimento di una qualche misura. È dovuto alla difficoltà di misurarle. La gravità è una forza estremamente debole a livello microscopico: è del tutto trascurabile a livello atomico e molecolare. La sentiamo — eccome! — a livello macroscopico e quindi classico, ma non è facile comprovare la validità della teoria a livello microscopico. L'elettromagnetismo è osservato e capito a grandi e piccole distanze, ed è spiegato da una teoria, l'*elettrodinamica*, che è perfettamente coerente anche a livello quantistico. Gli effetti puramente quantistici dell'elettromagnetismo sono previsti accuratamente dalla teoria, e si possono calcolare e verificare sperimentalmente con una precisione enorme.

A energie molto elevate (che corrispondono a distanze piccolissime), anche la gravità diventa quantistica. La quantizzazione della teoria della gravitazione di Einstein non è, purtroppo, una teoria coerente. La teoria non incontra problemi di coerenza finché considerata a livello semiclassico, ivi inclusi i fenomeni di emissione. Se invece si considerano fluttuazioni quantistiche, ossia emissione e assorbimento di energie molto elevate, anche per tempi brevissimi, nascono degli infiniti non controllabili né calcolabili. Oltre al problema della misura e dell'osservazione, esiste dunque un problema di inconsistenza interna della teoria della gravitazione quantistica.

Niente di male, si sono avuti altri casi di teorie non coerenti poi superate da approcci più generali e consistenti. La mancanza di coerenza quantistica della teoria di Einstein significa forse che è soltanto un'approssimazione di una teoria più completa. Come dovrebbe essere modificata la teoria per essere coerente anche a livello quantistico è effettivamente uno dei temi su cui oggi si concentra il pensiero dei fisici teorici.

S.C., E.P.

ECO DELLA STAMPA SCIENTIFICA

La costante della discordia

In più di tre secoli fa, da quando cioè Newton propose la sua teoria, gli scienziati non sono riusciti a stabilire con sicurezza l'intensità della forza di gravitazione universale definita dalla costante, detta appunto di gravitazione. Il valore più generlamente accettato è G=6,6726 10^{-11} metri^3 per secondi^2 per chilogrammo. In un recente convegno dell'American Physical Society, tre gruppi di ricerca hanno annunciato le loro nuove misure, tutte inferiori a questo valore: per il gruppo della Nuova Zelanda G=6,6659 10^{-11} metri^3 per secondi^2 per chilogrammo, per i tedeschi dell'Università di Wuppertal G=6,6685 10^{-11} metri^3 per secondi^2 per chilogrammo, per i tedeschi dell'Istituto di Fisica tecnica di Brunswick G=6,71540 10^{-11} metri^3 per secondi^2 per chilogrammo. Le discrepanze sono piccole ma molto significative, e nessuno riesce a spiegarsele.

«New Scientist», 29 aprile 1995, n. 1975, p.18

Il cuore della materia

Al centro della nostra Galassia si suppone ci sia un buco nero molto massiccio. Purtroppo l'enorme energia che dovrebbe sviluppare secondo il modello teorico non viene registrata dalle osservazioni. R. Narayan, I. Yi e R. Mahadevan dell'Harvard-Smithsonian Centre for Astrophysics nel Massachusetts sembra abbiano trovato il modo per spiegare questo fatto. Se l'accrescimento di materia nel buco nero avviene lentamente, la materia che cade diventa, sì, molto calda ma viene subito ingoiata dal buco nero. La maggior parte dell'energia sviluppata viene così convogliata dentro il buco nero e non viene irradiata.

«Nature», vol. 374, 13 aprile 1995, p. 593 e 623

Fermiamo l'inflazione

Secondo John Barrow dell'Università del Sussex il modello cosmologico che prevede un periodo di fortissima espansione dell'Universo primordiale (il cosiddetto Universo inflazionario) è un'ipotesi fisicamente assurda. In questo caso, infatti, dovrebbe essersi creata una quantità di radiazione gravitazionale tanto grande da ritenersi ragionevolmente irrealistica. Secondo Barrow, l'Universo è nato come una "particella" quantistica contenente la stessa quantità di massa-energia dell'Universo attuale. In queste condizioni estreme, le interazioni gravitazionali, diventando la gravità estremamente forte, avrebbero potuto strocare sul nascere qualunque irregolarità. Ecco dunque che la regolarità dell'Universo attuale (isotropia) è un fatto naturale e si spiega senza bisogno del modello inflazionario. Le irregolarità rilevate dal satellite COBE nella radiazione di fondo, ritenute una testimonianza a favore del modello inflazionario, potrebbero essere invece la traccia lasciata dalla radiazione gravitazionale.

«Physical Review D», vol. 51, 18 marzo 1995, p. 3113

Cacciatori di onde

La grande conferenza mondiale su gravitazione e relatività generale si è tenuta a Firenze dal 6 al 12 agosto. È stata l'occasione, per gli scienziati, di fare il punto sullo stato dell'arte e per presentare risultati e idee innovative. È l'occasione, per noi, per avvicinarci a uno dei problemi più interessanti della storia della fisica.

Firenze, 6 agosto 1995, poco lontano dalla stazione di Santa Maria Novella, la sala del Palazzo dei Congressi è gremita: più di 600 scienziati — fisici teorici, astrofisici, cosmologi — si sono incontrati per la quattordicesima edizione della Conferenza internazionale di Relatività generale e Fisica della Gravitazione. Un appuntamento triennale, che di volta in volta tocca le principali capitali della fisica mondiale, con lo scopo di fare il punto sui recenti sviluppi teorici e sperimentali della rivoluzionaria costruzione teorica che Einstein formulò nel 1915.

Nell'edizione fiorentina, organizzata dalla Società italiana di Relatività generale e Fisica della Gravitazione con l'Università di Firenze, l'Istituto nazionale di Fisica nucleare e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, molti sono stati gli argomenti di interesse. Quattro erano le sezioni: gli sviluppi teorici della relatività generale, le sue conseguenze in ambito astrofisico e cosmologico, la ricerca sperimentale delle onde gravitazionali, la quantizzazione della gravità. Grande affollamento e attenzione alle conferenze generali del mattino, intensa e attiva partecipazione ai seminari pomeridiani suddivisi fra le varie specialità.

Gli interventi dei due fisici teorici britannici Roger Penrose e Stephen Hawking — accompagnati da uno stuolo di giornalisti degno delle grandi occasioni — hanno rappresentato il momento centrale della conferenza. In base ai suoi studi sulle conseguenze della relatività generale — in particolare sui buchi neri virtuali — Hawking ha teorizzato l'impossibilità di osservare le elusive particelle di Higgs, la cui scoperta rappresenterebbe una conferma del modello standard della struttura della materia, uno dei capisaldi della fisica moderna. Queste verrebbero infatti risucchiate dai buchi neri virtuali, che rapidamente si formano e si distruggono nello spazio, sottraendosi così definitivamente alla vista.

Per Roger Penrose — attualmente alle prese con i *twistor*, oggetti geometrici che potrebbero permettere di riscrivere la relatività generale — la corretta combinazione della relatività con la meccanica quantistica non è solo il più grande problema della fisica attuale (si veda l'intervista a Daniele Amati, *La luce e il suo schermo*) ma rappresenta anche l'ingrediente fondamentale per la comprensione dell'intelligenza. Nel suo ultimo libro, *Shadows of the Mind*, sostiene infatti che le ricerche sulla gravità quantistica possono essere rilevanti anche per comprendere l'attività del cervello.

Ma la fisica della gravitazione, una robusta struttura teorica costruita essenzialmente con la forza del pensiero astratto, deve fare i conti anche con la realtà osservata: per questo, fin dai primi anni sessanta, si stanno facendo notevoli sforzi per riuscire a captare le onde gravitazionali previste dalla teoria di Einstein. Come spiega qui accanto Daniele Amati, le onde gravitazionali dovrebbero venire generate da una variazione della massa, cioè da una deformazione della struttura dello spaziotempo. Purtroppo nessuno è stato ancora in grado di rivelarle, in quanto la gravità, pur avendo un raggio d'azione praticamente infinito, è una forza estremamente debole; anche un evento eccezionale, come l'esplosione di una supernova, produrrebbe sulla Terra un effetto individuabile soltanto con antenne estremamente sensibili.

Attualmente, nonostante sussistano ancora notevoli difficoltà tecnologiche, sono in corso una serie di esperimenti che mirano a catturare queste onde fantasma. L'Italia è fortemente impegnata in questi sforzi con tre diversi progetti di antenne. Nautilus e Auriga, installate rispettivamente nei laboratori dell'Istituto nazionale di Fisica nucleare a Frascati e a Legnaro, sono due antenne a risonanza. Nel Nautilus la lunga barra cilindrica, un blocco di 2300 chilogrammi isolato sismicamente, è raffreddata fino a una temperatura di appena qualche millesimo di grado sopra lo zero assoluto (–273°C), allo scopo di ridurre al minimo il rumore di fondo dovuto all'agitazione termica. Una terza antenna — a Pisa — è invece basata sull'interferometria a raggi laser.

Alla conferenza di Firenze, Eugenio Coccia, coordinatore dell'esperimento Nautilus, ha fatto il punto della situazione soffermandosi in particolare sulle difficoltà tecnologiche ancora da sormontare e ha tracciato un ampio profilo delle antenne *sferiche* di nuova generazione. Queste, oltre ad avere una maggiore sensibilità, presenteranno due evidenti vantaggi: la loro simmetria permetterà di individuare sia la direzione di provenienza che il tipo di polarizzazione delle onde gravitazionali. A causa dell'estrema difficoltà a posizionare su una sfera i sensibilissimi rivelatori di posizione, il prototipo delle nuove antenne realizzato per i Laboratori nazionali di Frascati dell'INFN non è però sferico: ha invece la forma di icosaedro tronco, un solido la cui superficie è un alternarsi di pentagoni ed esagoni (come un pallone da calcio). Il solido, che compare già nei lavori di Leonardo, permette, con le sue facce piane, un'agevole installazione dei dispositivi di rivelazione e conserva le preziose simmetrie caratteristiche della sfera.

Sui tempi di realizzazione, ovviamente ancora incerti, influiranno molto i risultati, attesissimi, delle esplorazioni attualmente in corso con le antenne cilindriche dislocate in vari punti del pianeta.

Maurizio Marchetti

…omia e Astrofisica, Università di Göteborg, Svezia

…inio della gravità

…è il fulcro della moderna astronomia e ha permesso moltissime straordinarie previsioni, …aperte. Tra queste, una delle più oscure è l'origine dell'inerzia, la principale caratteristica dei…

…gamma, (gli astrofisici usano la parola inglese *burst*), anche queste collegate alla gravitazione. Secondo la teoria di Einstein, la gravità è un effetto della curvatura dello spazio-tempo, la quale, a sua volta, è un effetto della presenza della materia. La forte curvatura dello spazio-tempo nelle vicinanze di un buco nero per gli astronomi oggi non è più qualcosa di strano o imbarazzante. È vero, d'altra parte, che molto spesso gli effetti della curvatura sono estremamente difficili da calcolare.

In particolare, un'affascinante sfida intellettuale è connessa al problema di capire cosa avviene all'interno delle *pulsar*, la cui massa, superiore a quella del Sole, è stata compressa dall'enorme forza di un'esplosione (tecnicamente, di una *supernova*) in una sfera del diametro di circa venti chilometri. Là dentro, a una fortissima gravità si sommano (a causa della estrema densità della materia) anche le forze che governano l'interazione delle particelle. Ma queste stelle hanno anche un comportamento molto preciso. Le pulsar, difatti, emettono due fasci di onde radio opposti e relativamente ben collimati che ruotano assieme alla pulsar come i fasci di un faro. Quando questi fasci "spazzolano" la Terra, i grandi radiotelescopi registrano un impulso intermittente che si ripete con estrema regolarità a intervalli che possono variare, a seconda della stella, dall'ordine dei secondi a quello dei millisecondi. Una specie di tic tac che rende in effetti le pulsar degli esattissimi orologi celesti. Oltre a ruotare sul proprio asse, poi, alcune pulsar sono stelle doppie che orbitano a gran velocità l'una intorno all'altra. Ora, secondo la teoria einsteniana, questa rapida rotazione dovrebbe portare ad una perdita di energia e a una conseguente emissione di onde gravitazionali. Perdendo energia, le stelle dovrebbero avvicinarsi, rendendo così più breve il periodo delle loro orbite. Nel caso della pulsar PSR1913+16, il suo periodo orbitale di 18 ore, a causa della perdita gravitazionale prevista dalla teoria, si abbrevia di esattamente 75 microsecondi ogni anno.

A furia di ravvicinarsi, queste stelle doppie finiscono per collidere e fondersi in una spettacolare esplosione. Si è teorizzato che la maggior parte dell'energia del legame gravitazionale che congiunge questa coppia di stelle venga rilasciata in un tempo brevissimo, più breve di un minuto, o, in certi casi, addirittura di un secondo. I risultati di difficili esperimenti al computer suggerirebbero che in questo breve tempo una pulsar in collisione potrebbe diventare l'oggetto più luminoso dell'Universo e ciò potrebbe dare una soluzione al problema dei grandi *burst* di raggi gamma, le più potenti emissioni di onde elettromagnetiche dell'Universo.

Dettagliate e difficili analisi della direzione di provenienza di centinaia di questi *burst* di raggi gamma (queste esplosioni sono state scoperte solo circa trenta anni fa, dai satelliti spia di tipo "Vela" e sono state inizialmente scambiate per esplosioni atomiche) hanno rivelato un fatto di sicuro interesse generale: i *burst* sono distribuiti con estrema uniformità su tutto il cielo. Le sorgenti di queste forti emissioni sono situate al di fuori della nostra Galassia, a distanze veramente cosmiche. Come ha detto B. Paczynski dell'Università di Princeton, "Noi stiamo al centro di un'unica cosa: l'intero Universo osservabile".

Tutto questo ci riporta alle nostre considerazioni generali sulla gravità. La Prima Legge della dinamica newtoniana afferma, come è noto, che "i corpi che non sono soggetti all'azione di qualche forza restano in quiete o si muovono di moto uniforme, con velocità costante e direzione fissa". Questo significa che tutti i corpi hanno una proprietà veramente notevole, e cioè una naturale resistenza ad ogni cambiamento di velocità e di direzione. Newton chiamò questa proprietà l'*inerzia della materia*. Per quanto sorprendente ciò possa apparire, a tutt'oggi nessun fisico può onestamente dire di sapere quale sia l'origine di questa fondamentale proprietà della materia. Il problema dell'origine dell'inerzia è stato al centro di un dibattito che dura da circa tre secoli. Questo problema sorge da una domanda apparentemente semplice e innocente. La sopracitata Prima Legge parla di una "velocità costante" e di una "direzione fissa". Ma – uno potrebbe chiedersi – "*Costante* e *fissa* rispetto a *cosa*?" Sia la velocità che la direzione sono sempre, per definizione, riferiti a *qualcosa*. Viaggiando attraverso una immobile e densa nebbia su un aereo che si muova con una velocità costante e una direzione fissa *rispetto alle coordinate terrestri*, i passeggeri non avrebbero modo di sapere se sono fermi oppure si stanno spostando alla rispettabile velocità di 900 chilometri all'ora. Se l'aereo, però, cambiasse velocità o direzione, i passeggeri si accorgerebbero subito dei cambiamenti, per la forza di inerzia che li spingerebbe rispettivamente indietro (o in avanti) o da un lato. Potrebbero così vedere una bella conferma della Prima Legge, e dire: "Ovviamente, le forze applicate dal motore cambiano la direzione e la velocità dell'aereo rispetto alla Terra. Se non fosse per la nebbia, noi certamente potremmo misurare questi cambiamenti, e confermare la Prima Legge." Supponiamo però che l'aereo stia viaggiando fuori della Terra, tra le stelle. Qualora l'aereo girasse o cambiasse velocità, i passeggeri *percepirebbero ancora esattamente le stesse forze*. Penserebbero, allora, probabilmente, che ciò dipende da un'accelerazione e da un cambio di rotta rispetto alle lontane galassie. Ma supponiamo ancora che l'Universo che i passeggeri possono vedere fuori dai finestrini non contenga che nebbia, sempre e dovunque. Niente Terra, Sole, stelle o galassie da usarsi come punti di riferimento. In un tale Universo, dove non ci sarebbe modo di misurare e definire alcuna velocità e direzione, i passeggeri di questo aereo con i motori accesi sentirebbero ancora forze inerziali, oppure no?

La risposta di Newton a questa domanda era: "Certamente sì". Invece, la maggioranza dei fisici oggi darebbe la risposta contraria. Questo perché per Newton l'inerzia della materia era collegata allo spazio, considerato come una realtà assoluta. Dal suo punto di vista, non era necessario collegare il movimento a dei cor-

continua in ultima pagina

DA HIROSHIMA A MURUROA

Gli esperimenti nucleari a Mururoa realizzati dai francesi hanno scatenato un'ondata di reazioni negative in tutto il mondo. L'autore del recente libro* Hiroshima, la fisica conosce il peccato *(recensito in questa pagina nella* Scienza da sfogliare*), ce ne spiega i motivi e analizza la situazione.

Quando il primo ordigno di prova è esploso, a inizio settembre, nelle viscere basaltiche dell'atollo di Mururoa, è a Parigi che si è sentita l'onda d'urto più forte. il sismografo del Quai d'Orsay, infatti, ha dovuto registrare l'irritazione del presidente americano Bill Clinton e la presa di distanza dei leader europei. Ha visto aprirsi una faglia nei rapporti diplomatici con l'Australia, la Nuova Zelanda e il Cile. Mentre il primo ministro giapponese Murayama non esitava ad accusare la Francia di aver inopinatamente «tradito le potenze non nucleari». E intanto, con le sue irridenti e pacifiche provocazioni, *Greenpeace* si guadagnava la simpatia dell'opinione pubblica mondiale. E persino i francesi si schieravano in maggioranza, per la prima volta, contro l'intempestiva riproposizione della *grandeur* nucleare.

Perché questa imprevista e formidabile onda d'urto che ha investito come un boomerang il presidente Chirac e la sua decisione di effettuare otto test nel poligono nucleare di Mururoa? È giustificata una siffatta reazione nell'opinione pubblica e nelle cancellerie di tutto il mondo?

Sono stati accampati due diversi ordini di motivi nella protesta contro i nuovi esperimenti atomici francesi. Il primo è di natura ecologica. *Greenpeace* e molti governi che affacciano sul Pacifico sostengono che gli esperimenti possono causare l'inquinamento radioattivo delle acque di quel grande oceano. Parigi risponde che i test sono più che sicuri. Ma è in difficoltà quando le si chiede: se sono sicuri come dite, perché effettuarli a Mururoa e non a Marsiglia o nelle caverne del Giura?

La domanda ha una sua forza logica. Ma resta il fatto che il pericolo ecologico dei test, pur essendo non campato in aria, è limitato. E comunque tale da non spiegare la veemenza dell'onda d'urto abbattutasi sulla Francia. Ben altri sono i rischi ambientali per il pianeta e le sue singole regioni oggi. La forza delle proteste contro i test di Mururoa trae origine ed è giustificata da un altro ordine di motivi. Squisitamente politico.

A cinquant'anni da Hiroshima, il mondo sta vivendo forse il momento più favorevole per bloccare la corsa al riarmo nucleare e, anzi, per procedere verso un rapido e sostanziale disarmo. L'opinione pubblica mondiale ha percepito che dopo il crollo dell'Unione Sovietica e la fine della guerra fredda tra i due blocchi militari e ideologici contrapposti, l'opzione nucleare non è più necessaria. Non si tratta solo di un generico clima favorevole. Ma di un processo reale che si è avviato dopo il 1989.

La proliferazione verticale, infatti, è stata interrotta. E la corsa al riarmo nucleare si è invertita. Le testate nucleari, cresciute costantemente di numero dopo il 1945 fino a raggiungere la cifra di 70 000 nel 1986, hanno iniziato a diminuire: oggi sono 45 000.

Stati Uniti e Russia, erede dell'ex Unione Sovietica, hanno ratificato nel dicembre 1994 il trattato START I che impegna le due potenze a ridurre del 20% o del 30% le testate cosiddette strategiche, con tagli soprattutto dei missili balistici intercontinentali (ICBM) mobili e dei missili a testata multipla (MIRV).

Stati Uniti e Russia hanno firmato (nel gennaio 1993), ma non ancora ratificato, un altro trattato, lo START II, che entro il 2003 li impegna a ridurre di circa il 75% il loro arsenale strategico, contenendo il numero delle testate tra 3000 e 3500. Erano rispettivamente 12.742 e 11:042 nel 1991.

Le due potenze nucleari, inoltre, hanno annunciato con gran clamore di aver abbassato la guardia nucleare. Non solo il loro sistema atomico non si trova più nella condizione di massima allerta, ma i missili non sarebbero più puntati contro precisi obiettivi sul territorio nemico, bensì puntati a vuoto contro l'oceano.

In questa prima parte degli anni novanta, la popolazione mondiale, magari con un pizzico di eccessivo ottimismo, ha percepito che la minaccia della guerra nucleare si è sgonfiata.

In realtà, anche la cosiddetta proliferazione orizzontale si è interrotta. Attualmente il club nucleare è composto, ufficialmente, da cinque nazioni: USA, Russia, Gran Bretagna, Francia e Cina. Cui bisogna aggiungere "ufficiosamente" altre tre nazioni che, negli anni settanta, si sono dotate di armi nucleari: Israele, India e Pakistan. Il crollo dell'ex Unione Sovietica non ha portato né all'aumento delle potenze nucleari né ad alcuna seria crisi. In particolare le armi nucleari tattiche, che nel 1991 erano disseminate in dieci delle repubbliche ex sovietiche, entro il mese di maggio 1992 sono state ritirate e concentrate nella sola Russia. Anche il problema delle armi strategiche si è risolto. Esse, infatti, erano schierate oltre che sul territorio della Russia anche in Bielorussia (81 testate), Kazakhstan (1410 testate) e Ucraina (1734 testate). Tutte e tre i paesi si sono impegnati a disfarsi di queste armi. Da notare che sia il Kazakhstan che l'Ucraina hanno rinunciato a un arsenale pari a quello della Francia, Gran Bretagna e Cina messi insieme.

Il Sudafrica è stato il primo paese che, dopo aver costruito armi atomiche, le ha distrutte: nel 1991 ha smantellato le sue 6 bombe atomiche, dimostrando che al nucleare si può rinunciare.

Argentina e Brasile nel dicembre 1991 hanno rinunciato definitivamente ai loro programmi nucleari, dando il loro contributo decisivo a fare dell'intero Sud America una *free nuclear weapons zone*: una regione senza armi nucleari.

In Iraq il progetto nucleare è stato bloccato e smantellato con la forza delle Nazioni Unite dopo la Guerra del Golfo, mentre la Corea del Nord ha liberamente rinunciato a un analogo programma dopo un duro negoziato con gli Stati Uniti. In questo momento solo l'Iran, forse, ha un serio progetto di riarmo nucleare.

Il 12 maggio di quest'anno, infine, su forti pressioni degli Stati Uniti, la Conferenza di rassegna e di estensione del Trattato di Non Proliferazione nucleare (TNP) ha deciso, col consenso di tutti i paesi a eccezione della Corea del Nord, di prorogare il Trattato a tempo indeterminato. La proliferazione orizzontale delle armi nucleari è virtualmente bloccata.

Questo clima eccezionalmente favorevole al disarmo nucleare controllato rischia di essere incrinato, però, dalla decisione della Cina e della Francia di rompere una moratoria di fatto in vigore dal 1992 e di effettuare, entro il 1996, una serie di esperimenti atomici. Si tratta di un'incrinatura reale. E l'opinione pubblica mondiale lo ha percepito. Reagendo con veemenza.

Il rischio è reale, perché con la decisione di estendere il TNP a tempo indeterminato, la Conferenza presso le Nazioni Unite ha votato all'unanimità un documento che cerca di smussare gli angoli di un Trattato strutturalmente asimmetrico, chiedendo alle cinque potenze nucleari riconosciute di: portare avanti il processo di disarmo; bloccare la produzione di materiale fissile per scopi militari; fornire maggiori garanzie di sicurezza ai paesi non nucleari e, in primo luogo, stipulare entro il 1996 un vero e proprio Trattato per il bando totale degli esperimenti nucleari.

A maggio la Cina e la Francia, insieme alle altre potenze nucleari, si sono solennemente impegnate a fare tutto questo. Ma a giugno hanno annunciato di voler effettuare un certo numero di test nucleari. Per rendere più sicuri i loro arsenali prima che entri in vigore il Trattato, sostengono.

I governi e gli esperti sanno che le giustificazioni tecniche addotte da Parigi e da Pechino non reggono. Quei test appaiono a tutti come una violazione dello spirito, se non della lettera del TNP. E, quindi, temono che siano un tentativo di boicottare il Trattato per il bando dei test se non lo stesso Trattato di Non Proliferazione.

L'opinione pubblica mondiale (che sa poco degli esperimenti cinesi) ha in qualche modo percepito che i test di Mururoa rompono un clima idilliaco. E che rischiano di riprecipitarla nell'angoscia nucleare. Per questo protesta con veemenza. E con ragione. Perché creare un comune sentire tra le 150 e più rissose nazioni del pianeta non è impresa facile. E incrinarlo non è impresa responsabile.

Pietro Greco

La scienza da sfogliare

Il sole costruito dall'uomo

Qualche settimana fa, a fine settembre, in una casa di riposo vicino a Oxford, moriva Rudolf Peierls. Aveva 88 anni. Uno dei pochissimi testimoni che potevano ancora raccontare quel 16 luglio di cinquant'anni fa, quando il sole si accese due volte nel deserto del New Messico, ad Alamogordo. Uno di quei due soli era opera dell'uomo: la prima esplosione nucleare, l'unico collaudo della Bomba tre settimane prima di Hiroshima e Nagasaki.

Rudolf Peierls, un ebreo tedesco naturalizzato inglese, era uno degli ultimi fisici ancora in vita che furono coinvolti nel Progetto Manhattan. Ora è rimasto solo Edward Teller. Il nome di Peierls resta legato alla bomba atomica per almeno due ragioni. La prima. Fu lui, a Birmingham, assieme a Otto Frisch, all'inizio del 1940, a rendersi conto per la prima volta con carta e penna che la massa critica di uranio-235 sufficiente per una bomba a fissione è piccola, molto più piccola di quella che altri fisici avevano calcolato. Il secondo legame tra Peierls e l'atomica è che tra i suoi assistenti in Inghilterra c'era quel Klaus Fuchs che passò all'URSS i segreti della Bomba. Rudolf Peierls non si è mai dato pace per non essersi accorto del doppio gioco del suo collaboratore. Ma neppure si è pentito di aver contribuito — sia pure indirettamente — alla costruzione della Bomba.

Mai prima dell'arma atomica la scienza di era intrecciata così saldamente alla storia e alla politica. Pietro Greco, uno dei nostri giornalisti scientifici più lucidi e problematici, racconta passo passo gli eventi grandi e piccoli che portarono alla costruzione della Bomba in un libro pubblicato dagli Editori Riuniti: *Hiroshima* (256 pagine, L. 15000). Un libro che è una galleria dei grandi personaggi della fisica moderna: da Einstein a Fermi, da Planck a Bohr, da Heisenberg a Szilard, da Oppenheimer a Teller. La ricostruzione di cinquant'anni straordinari e tragici. Tra i primi modelli dell'atomo e le bombe sul Giappone stanno in mezzo due guerre mondiali che videro per la prima volta mobilitati anche i camici bianchi: quelli dei chimici che nel 1915 produssero il gas iprite usato dai tedeschi sul fronte francese, e quelli dei fisici che nel secondo conflitto misero a punto il radar in Inghilterra e l'arma atomica in America.

Ma, al di là delle intollerabili responsabilità morali che i fisici si presero sulle spalle costruendo la Bomba — la storia dell'arma atomica è anche una storia in cui l'errore, l'equivoco gioca un ruolo di primo piano, come Pietro Greco mette in rilievo con chiarezza. Esemplare la cecità scientifica di Niels Bohr, il "danese tranquillo" della ponderosa biografia di Abraham Pais. Ancora alla fine del 1943 — quando giunge in Inghilterra dopo un'avventurosa fuga in aereo dalla Danimarca organizzata dai servizi segreti di Sua Maestà — Bohr è convinto, come nel '39, che la Bomba sia un obiettivo irraggiungibile, scientificamente e tecnologicamente: troppo contenuta — secondo Bohr — è l'esplosione del materiale fissile, quasi proibitiva la separazione dell'uranio-235. Soltanto in Inghilterra Bohr apprende da James Chadwick (lo scopritore del neutrone) dei progressi e degli sviluppi compiuti al di là dell'oceano. Cade dalle nuvole di fronte al Progetto Manhattan.

E che dire del singolare incontro tra Niels Bohr e Werner Heisenberg avvenuto nel 1941? Heisenberg aveva scelto di restare in Germania, con molte ambiguità mai del tutto comprese. E da un misterioso disegno del collega tedesco, Bohr arguisce che il Terzo Reich lavora anch'esso alla Bomba. (Si veda la minuziosa ricostruzione della vicenda apparsa sul numero di luglio di "Le Scienze".) Digiuno com'era di tecnologia, Bohr non comprende che la Germania è terribilmente indietro, che le chance di realizzare la Bomba sono pressoché nulle.

Una commedia degli equivoci in cui rimangono irretiti anche gli uomini del Progetto Manhattan. Isolati nella *mesa*, i fisici di Los Alamos si rendono conto troppo tardi che l'"arma assoluta" non è più destinata alla Germania, bensì al Giappone. E che il suo devastante messaggio è rivolto alla Russia di Stalin. L'anticamera della Guerra fredda.

Rileggendo la storia dell'atomica con uno stile e un ritmo giornalistico chiaramente ispirati a un libro ormai introvabile di Robert Jungk (*Gli apprendisti stregoni, storia degli scienziati atomici*, stranamente assente dalla pur cospicua bibliografia), Greco si sofferma in chiusura sull'"etica della rinuncia" di Max Born e sull'"etica della flessibilità" di Leo Szilard. Alla quale sembra andare la sua personale comprensione. I fisici atomici si sono trovati a dover scegliere tra due mali: il nazismo e la Bomba. Per sconfiggere Hitler l'arma atomica è necessaria. Quindi va fatta. Ma quando è evidente che i nazisti non hanno la Bomba, allora Szilard vorrebbe fermare il Progetto Manhattan e non usare la Bomba sul Giappone.

Ma il processo è ormai inarrestabile. Pietro Greco avverte che l'arma atomica possiede una fortissima logica intrinseca. Dopo Hiroshima e Nagasaki non è nato quel "mondo aperto" sognato da Bohr, né si è visto il "governo mondiale" invocato da Einstein. Eppure non c'è stata la guerra nucleare. La logica della Bomba è stata più forte. L'incubo del fungo atomico è risultato un deterrente più forte e duraturo di tante religioni e di tanta filosofia morale.

Quel fungo che Bob Caron, il mitragliere dell'"Enola Gay", il B-29 che sganciò la bomba atomica su Hiroshima, aveva fotografato e immortalato per la storia. Bob Caron è morto all'inizio dello scorso giugno. Disegnatore industriale in pensione, aveva appena pubblicato un'autobiografia intitolata *Fire of a thousand stars*, il fuoco di un migliaio di stelle. Come il suo comandante Paul Tibbets, 80 anni, tuttora vivo, aveva sempre ripetuto lo stesso ritornello: "Nessun rimorso, nessun incubo. Abbiamo fatto quello che andava fatto".

Fabio Pagan

DALLE PAGINE PRECEDENTI...

Continua dalla prima pagina

La non scienza della complessità

tamente come ottimizzare i propri investimenti. Abbiamo diversi studi in corso che cercano di elaborare il modello di un sistema economico più realistico, e stanno dando risultati interessanti.

Quali sono a tutt'oggi i campi di ricerca?

Oltre all'economia c'è un importante programma sul sistema immunitario, che è un esempio meraviglioso di sistema complesso adattivo. Un gruppo di ricercatori sta elaborando un modello di funzionamento del sistema immunitario e di studiare che cosa accade quando è difettoso, per esempio dopo aver contratto l'AIDS.

Si sta facendo anche un notevole sforzo, nel campo dell'informatica, per mettere a punto dei sistemi calcolo in grado di eseguire un programma cambiandone le regole nel corso dello svolgimento. Nel caso in cui, durante una simulazione, si ottengano dei risultati inaspettati dovuti, ad esempio, a particolari connessioni tra le parti del sistema, con le nuove piattaforme di calcolo risulterebbe possibile cambiare alcune di esse in tempo reale e vedere immediatamente come reagisce il sistema.

Altre linee di ricerca sono orientate verso la genetica – con lo scopo di costruire degli algoritmi genetici più ragionevoli rispetto ai problemi della vita reale – la biologia teorica e la cosmologia.

Occorre dire che 'Istituto è cresciuto moltissimo in questi dieci anni: da un budget iniziale di 100.000 dollari all'anno fino agli attuali 5 milioni di dollari.

E il successo è anche cresciuto di pari passo con gli investimenti?

Molti ci hanno dato fiducia e il sostegno finanzairio, anche dai privati, è cresciuto notevolmente. Probabilmente li ha convinti il nostro nuovo modo di lavorare, interdisciplinare e fitto di rapporti con la realtà. Credo che il maggiore contributo che è arrivato dall'Istituto di Santa Fe sia stato quello di diffondere un nuovo modo di pensare ogni problema che si incontra in natura e nella società umana, riconoscendo che nessun sistema è semplice, che non esibiscono comportamenti semplici. Possono forse esistere delle leggi semplici, ma portano comunque a comportamenti complessi.

Le vostre ricerche hanno già portato a qualche applicazione pratica?

Un esempio significativo. Due dei nostri ricercatori associati si sono interessati del comportamento di un sistema in termini di previsione, basandosi sull'attenta osservazione del suo sviluppo (in termini tecnici si chiama *time series forcasting*). A volte è possibile individuare delle regolarità tra gli eventi che caratterizzano il comportamento dinamico di un sistema, così da poter avanzare delle previsioni. Hanno applicato questo metodo in campo finanziario e dopo tre anni di lavoro hanno scoperto che, dopo il verificarsi di una certa serie di eventi si verifica sempre un altro determinato evento, nell'andamento delle azioni di una società. Hanno sfruttato questa teoria per giocare in borsa e hanno guadagnato cifre enormi.

La complessità, negli ultimi anni, è diventata quasi una moda, la chiave di interpretazione di ogni fenomeno, dalla fisica all'economia alla metereologia. Il tentativo di costruire quella che vorrebbe essere una scienza del tutto si è però anche attirato delle critiche. Che cos'ha da rispondere ai suoi detrattori? Quali pensa siano i limiti propri della scienza dei sistemi complessi?

La scienza della complessità ha senz'altro un limite fondamentale: non è una scienza. È un modo, probabilmente utile, di affrontare molti problemi differenti. Il suo merito principale è stato di porsi delle domande interessanti e cominciare a cercare una risposta. Chi critica questa nuova visione del mondo non ne tiene conto e parte dall'erroneo presupposto che la "scienza" della complessità intenda fornire molte risposte. Ma questo non è vero.

Quali sono le sue previsioni e le sue speranze per lo sviluppo dell'Istituto?

Posso esprimere solo le mie speranze in quanto non sono in grado di fare previsioni. L'Istituto infatti è un altro esempio di sistema complesso adattivo. La mia speranza è che continui l'aggregazione di scienziati che gravitano attorno al nostro centro; che continuiamo a lavorare raccogliendo contributi provenienti da molte parti del mondo e molte discipline, e che riesca ad attirare le nuove generazioni di ricercatori.

Per quanto riguarda i progetti, credo che dovremmo concentrarci maggiormente sul confronto con la realtà a partire dai modelli, qualunque settore riguardino. Poi, una volta elaborato un modello, verificato che è compatibile con il reale e che può offrire soluzioni intelligenti a questioni importanti, rimane un ultimo problema: come convincere la società e l'opinione pubblica che questa è la soluzione più razionale, soprattutto quando questa va contro convinzioni diffuse e radicate, che purtroppo sono spesso infondate.

Simona Cerrato e Stefano Dal Secco

Continua dalla seconda pagina

Breve genealogia della forza di...

scrivere ciò che risulta dai fatti (*Scolio generale* all'edizione dei *Principia* del 1713).

Nella sua descrizione, però, il mondo è completamente cambiato: il peso anziché una proprietà collegata al "luogo naturale", è una forza che dipende inversamente al quadrato della distanza tra due corpi e direttamente dal prodotto delle loro masse, essendo queste delle grandezze a loro volte collegate all'inerzia e cioè alla forza necessaria per accelerare i corpi in questione. Le cose non sono più pensate come normalmente ferme, ma, al contrario, in un movimento continuo, le cui relative accelerazioni e decelarazioni dipendono dalle forze in campo (una forza è definita precisamente come ciò che può far variare la velocità di un corpo massivo).

Relativizzati i "luoghi", lo spazio e il tempo in cui si svolgono gli eventi descritti dalla meccanica newtoniana sono però ancora uno spazio e un tempo assoluti, in cui i corpi possono seguire qualsiasi traiettoria. Fintantoché ci si muove nel dominio delle nostre esperienze, questa descrizione rimane tuttora valida. Quando invece si cominciano a considerare distanze interstellari (o subatomiche) e velocità comparabili alla velocità della luce, la descrizione classica non è più adeguata. La teoria dell'elettromagnetismo e alcuni esperimenti indicano, difatti, già dalla fine del secolo scorso, che la luce viaggia a una velocità che rimane sempre la stessa, indipendentemente da quale sia il sistema di riferimento da cui la si misura. Lo spazio e il tempo smettono così di essere un contenitore assoluto della scena degli eventi, perché la velocità della luce delimita teoricamente la porzione dello spazio-tempo che qualsiasi evento può occupare (il cosiddetto *cono di luce*).

Ora, è stato dimostrato con crescente precisione (dagli esperimenti, prima, di Galilei nel 1589, e poi a quelli di Eötvös nel 1922) che la forza di gravità imprime la stessa accelerazione a tutte le masse all'interno di un campo gravitazionale: indipendentemente dalla propria massa, cioè, qualsiasi realtà materiale ha una stessa carica gravitazionale. Ne segue che anche la luce, e quindi la struttura stessa dello spazio-tempo, viene curvata dalla gravità. Secondo la teoria della relatività generale di Einstein, la gravità non è più solo una proprietà dei corpi, ma della struttura stessa del loro Contenitore. L'intero Universo può veramente arrotolarsi come una pergamena.

E.P.

Continua dalla terza pagina

Il dominio della gravità

pi realmente esistenti, perché il movimento poteva sempre essere riferito a qualche proprietà dello spazio. Dal punto di vista odierno, invece, l'inerzia di un particolare corpo è dovuta all'interazione tra il corpo in questione e tutti gli altri corpi dell'Universo. Secondo questo modo di vedere (che è chiamato anche *Principio di Mach*, dal nome del filosofo austriaco dell'inizio del secolo che influenzò profondamente il lavoro di Einstein) è l'enorme massa dei corpi presenti nell'Universo a determinare le proprietà dell'inerzia. Effettivamente, come abbiamo già detto, dall'osservazione sappiamo che le proprietà dell'Universo più lontano non dipendono da dove puntiamo i nostri strumenti. Questo spiegherebbe perché anche le proprietà dell'inerzia non dipendono dalla direzione e perché, per accelerare un elettrone a una certa velocità, occorre esercitare sempre la stessa forza in tutte le direzioni.

Personalmente sono convinto che sia le idee di Newton sia quelle di Mach siano corrette. Non ha senso parlare di misure in un Universo vuoto. Ci deve essere almeno la luce, le cui traiettorie nel vuoto sono determinate da processi quantistici: il sistema di riferimento della luce potrebbe effettivamente essere quella struttura assoluta dello spazio intravista da Newton. Ma perché la struttura locale del vuoto quantistico va d'accordo con la distribuzione delle grandi masse negli spazi del cosmo? Io credo che sia questo il problema...

Direttore responsabile: Margherita Hack
Direttore editoriale: Franco Prattico
In redazione: Simona Cerrato, Stefano Dal Secco, Ettore Panizon
Grafica: Giovanna Maiani
Disegni: Giuliano Comelli
Hanno collaborato: Aura Bernardi, Amanda De Felice, Riccardo Capovilla, Ottavia Foà, Luca Fraioli
Editore: Società Editoriale per azioni
Stampato presso: O.T.E. via Guido reni 1. Pubblicazione registrata al Tribunale di Trieste, n. 773 del 24-1-1990